

Анотація

Людковський В. М., Буряковський Г. А., Швець В. І., Акулов В. В., Пащенко А. В.
Використання шлакоутворювальних сумішей з оптимальними технологічними та екологічними характеристиками для високошвидкісного розливання на МБЛЗ

Наведено основні технологічні та екологічні параметри шлакоутворювальних сумішей для кристалізатора на основі системи $\text{CaO-SiO}_2\text{-MnO-CaF}_2$, розроблених ТОВ «Асоціація Екотехна». Виконано огляд результатів впровадження шлакоутворювальних сталей зі швидкістю розливання до 2,0 м/хв в умовах АТ «АрселорМіттал Теміртау» та ВАТ «Алчевський меткомбінат».

Ключові слова

шлакоутворювальна суміш, теплофізичні, фізико-хімічні властивості, екологічні показники, якість

Summary

Lyudkovskiy V., Buryakovskiy G., Shvets V., Akulov V., Pashchenko A.
Use of slag-forming compositions with optimal processing and environmental characteristics for high-rate casting at continuous casting machines

Basic processing and environmental parameters of slag-forming compositions for a crystallizer on the basis of $\text{CaO-SiO}_2\text{-MnO-CaF}_2$ system developed by LLC «Assotsiatsiya Ekotekha» have been provided. Results of implementation of slug-forming compositions for the casting of steels at continuous slab casters for carbon and low-carbon steels at casting rate up to 2,0 m/min in conditions of JSC «ArselorMittal Temirtau» and «Alchevsk Iron & Steel Works» plc have been reviewed.

Keywords

slag-forming composition, thermophysical and physicochemical properties, environmental indicators, quality

Поступила 26.05.10

УДК 621.771.06

В. А. Николаев, С. В. Жученко

Запорожский национальный технический университет, Запорожье

Погонные силы в области контакта «полоса-валок» в клети кварто

Представлена модель расчета распределения нормальных контактных напряжений и погонных сил на рабочий валок по ширине полосы. Установлено, что основным фактором, оказывающим влияние на неравномерность распределения указанных параметров, является неравномерность обжатия по ширине полосы, обусловленная различием поперечных разнотолщинностей подката и готового профиля.

Ключевые слова: прокатка, валки, модель расчета, распределение напряжений, погонная сила, полоса, разнотолщинность, обжатие

Исследования [1-3] показывают, что характер изменения средних нормальных контактных напряжений p_{cp} и погонных сил p_y по ширине полосы в контакте с валком неравномерный и обусловлен шириной полосы (B/L_B), поперечными разнотолщинностями исходной и конечной полос, наличием натяжения концов полосы (L_B – длина бочки

валка). В свою очередь, поперечная разнотолщинность готовой полосы определяется также прогибом валкового комплекта. Известно, что характер распределения погонных сил p_y на контакте полосы с рабочими валками в клети кварто, наряду с неравномерностью распределения межвалковых сил, оказывает определенное влияние на собственный прогиб

рабочего вала [4], хотя в некоторых работах по расчету прогибов валков это не учитывается [5-7].

В соответствии с экспериментальными исследованиями распределения напряжений p_{cp} и погонных сил p_y в четырехвалковых клетях с цилиндрическими валками можно утверждать, что неравномерность распределения их по ширине полосы обусловлена неравномерностью распределения величины относительного обжатия ϵ_B . При неизменных значениях обжатия ϵ_B нормальное напряжение p_{cp} и погонная сила p_y должны быть постоянными по ширине полосы. Однако обжатие ϵ_B , как правило, неравномерно по ширине полосы вследствие прогиба валков, наличия поперечной разнотолщинности и градиента температур по ширине исходной полосы (подката), неравномерности распределения продольных напряжений натяжения по ширине полосы на входе в валки и выходе из них, воздействия на полосу устройств гидроизгиба валков. Одни из указанных факторов способствуют увеличению параметров ϵ_B , p_{cp} и p_y на краевых участках полосы, а другие – уменьшению. Наличие уширения на кромках полосы вносит некоторые коррективы в характер распределения параметров ϵ_B , p_{cp} и p_y , уменьшая их значения. Так, по данным [2] прокатки подката с плюсовой поперечной разнотолщинностью (выпуклый поперечный профиль полосы) обуславливает большие значения погонной силы p_y в средней части ширины полосы (выпуклая эпюра p_y), а прокатка полос с минусовой поперечной разнотолщинностью обуславливает появление вогнутой эпюры p_y с максимумом на кромках полосы. В первом случае отношение минимальной и максимальной сил составляет $\sim 0,83$, а во втором $\sim 0,70$. Такое различие погонных сил обусловлено различием обжатия по ширине полосы и, очевидно, возникновением неравномерно распределенных внутренних продольных напряжений $\sigma_{вн}$. При прокатке подката с выпуклым профилем (с положительной разнотолщинностью) на краевых участках ширины готовой полосы возникают дополнительные растягивающие напряжения [2, 8], что обуславливает уменьшение на этих участках средних нормальных контактных напряжений и отношения $n_1 = p_1/p_0$.

Для теоретического расчета распределения по ширине полосы средних нормальных контактных напряжений и погонной силы известны различные методы [6, 9, 10]. В работе [9] предлагается объемный очаг деформации разбивать на конечное число продольных полосок с шагом Δy (рис. 1). Деформацию каждой отдельной полоски принимают двумерной, тогда решение объемной задачи сводится к решению плоской задачи.

Для каждого элемента n по ширине полосы предварительно определяют все геометрические параметры, необходимые для расчета средних нормальных контактных напряжений с учетом действий внешних продольных напряжений натяжения.

Среднее нормальное напряжение с учетом влияния натяжения на участке Δy равно [11-15]

$$p_{cp,y} = \sigma_\phi [0,5(n_3 + n_n) + aC_H f_n l_c / h_c]; \quad (1)$$

$$n_3 = 1 - \sigma_3 / \sigma_{\phi 0}; \quad n_n = 1 - \sigma_n / \sigma_{\phi 1}; \quad (2)$$

$$\left. \begin{aligned} C_H &= 0,17(1 + 14,7f_n) \quad \text{при } f_n \leq 0,12 \\ C_H &= 0,48 \quad \text{при } f_n \geq 0,12 \end{aligned} \right\},$$

где $p_{cp,y}$ – среднее нормальное контактное напряжение на ширине участка Δy , Н/мм²; σ_ϕ – сопротивление металла деформации, Н/мм²; $l_{c,y}$ – длина дуги контакта с учетом упругих деформаций валков и полосы, мм; h_c – средняя толщина элемента в очаге деформации, мм; $\sigma_{\phi 0}$ и $\sigma_{\phi 1}$ – сопротивление металла деформации соответственно на входе и выходе полосы из очага деформации, Н/мм²; σ_n и σ_3 – напряжение переднего и заднего натяжений, Н/мм²; n_3 и n_n , a – коэффициенты, учитывающие влияние натяжения и искажение формы эпюры внутренних напряжений от поперечного взаимодействия соседних продольных полосок ($a = 1,0-1,2$); p_1 и p_0 – погонная сила в области контакта «полоса-валок» соответственно на кромке и по оси ширины полосы, Н/мм²; f и f_n – коэффициент и показатель трения соответственно.

Средние толщины исходной и конечной полос равны

$$H_{cp} = H_k + 0,67\delta H_0; \quad h_{cp} = h_k + 0,67\delta h_0.$$

Средние абсолютное и относительное обжатия равны

$$\Delta h_{cp} = H_{cp} - h_{cp}; \quad \epsilon_{cp} = \Delta h_{cp} / H_{cp}.$$

Указанные выше параметры рассчитывают для каждого элемента, ширина которого может быть принята равной $\Delta y = 50$ мм.

Погонную силу в контакте полосы с валком определяют по выражению, Н/мм²

$$p_y = p_{cp,y} l_{c,y}; \quad (3)$$

Сила прокатки на всей ширине полосы равна, МН

$$P = \sum_1^n p_{cp,y} l_{c,y} \Delta y. \quad (4)$$

Эта сила должна быть равна силе прокатки, определенной из усредненных по площади контакта параметров деформации, то есть, МН

$$P = p_{cp} l_c B, \quad (5)$$

где p_{cp} – среднее нормальное контактное напряжение, Н/мм²; l_c – длина дуги контакта с учетом упругих

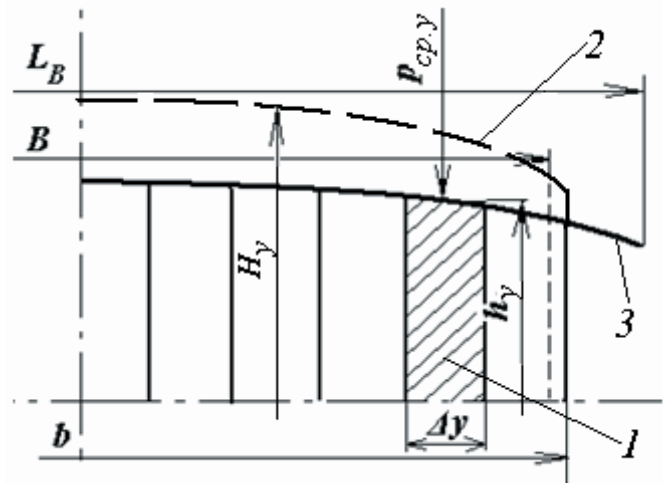


Рис. 1. Расчетная схема: 1 – элемент полосы; 2 – подкат; 3 – рабочий профиль рабочего вала

деформаций валков и полосы, мм; B – ширина полосы, мм.

Толщину полосы до и после прокатки определяли из выражения

$$H_y = H_{кр} + \delta H_y; \quad h_y = h_{кр} + \delta h_y; \quad (6)$$

$$\varepsilon = H_y - h_y/H_y, \quad (7)$$

где $H_{кр}$ и $h_{кр}$ – толщины на кромках подката и полосы, мм; δH_y и δh_y – поперечные разнотолщинности подката и полосы, мм.

Принимая параболическую форму поперечных сечений подката и полосы, получим (при $2y/B = 1,0$ $\delta H_y = 0$ и $\delta h_y = 0$)

$$\delta H_y = \delta H_0[1 - (2y/B)^2]; \quad \delta h_y = \delta h_0[1 - (2y/B)^2]; \quad (8)$$

$$\Delta \Pi = \delta H_0 - \delta h_0; \quad (9)$$

$$\Delta \Pi = (-2W_{оп} - 2W_p \pm f_{оп} \pm 2f_p)(B/L_B)^2, \quad (10)$$

где δH_0 и δh_0 – поперечные разнотолщинности по оси соответственно подката и полосы, мм; δH_y и δh_y – поперечные разнотолщинности по сечениям подката и полосы соответственно, мм; L_B – длина бочки валка, мм; $W_{оп}$ и W_p – прогиб соответственно опорного и рабочего валков ($W = W_p + W_{оп}$), мм; f_p – рабочая выпуклость (вогнутость) рабочего валка, мм; $f_{оп}$ – рабочая выпуклость (вогнутость) опорного валка, мм; $\Delta \Pi$ – уменьшение поперечной разнотолщинности по оси подката и полосы соответственно, мм.

В формуле (10) параметры f_p и $f_{оп}$ рабочего и опорного валков принимают с положительным знаком в случае выпуклого профиля валка и с отрицательным – в случае вогнутого профиля. Прогиб опорного валка принимают с отрицательным знаком, а прогиб рабочего валка – с положительным или отрицательным знаками (при прокатке полосы с $B/L_B = 0,75 \dots 0,80$).

Напряжение течения металла при холодной деформации определяем из работ [11, 13] в зависимости от химического состава стали, величины обжатия, температуры и скорости деформации.

Расчетные значения параметров прокатки в области контакта «полоса-валок» в клети кварто ($B = 1250$ мм; $H = 3$ мм; $\Delta \Pi = 0,1$; $\sigma_{T0} = 252,08$ Н/мм²)

y/B	h_y , мм	$2W$, мм	Δh_y	σ_{T1} , Н/мм ²	σ_{ϕ} , Н/мм ²	l_c , мм	$P_{cp,y}$, Н/мм ²	P_y , кН/мм
0,50	2,00	0,00	1,00	471,44	458,91	18,27	461,76	8,44
0,46	2,01	0,03	1,02	472,34	459,60	18,40	463,40	8,53
0,42	2,01	0,05	1,03	473,13	460,21	18,51	464,88	8,61
0,38	2,02	0,08	1,04	473,83	460,75	18,62	466,19	8,68
0,34	2,03	0,10	1,05	474,44	461,22	18,71	467,35	8,74
0,30	2,03	0,12	1,06	474,96	461,62	18,79	468,36	8,80
0,26	2,04	0,13	1,07	475,41	461,96	18,86	469,24	8,85
0,22	2,04	0,15	1,08	475,78	462,25	18,92	469,98	8,89
0,18	2,04	0,16	1,09	476,08	462,49	18,97	470,59	8,93
0,14	2,05	0,17	1,09	476,32	462,67	19,01	471,07	8,96
0,10	2,05	0,18	1,10	476,50	462,81	19,04	471,43	8,98
0,05	2,05	0,18	1,10	476,64	462,91	19,07	471,71	8,99
0,00	2,05	0,18	1,10	476,68	462,95	19,07	471,81	9,00

Формула (10) предусматривает, что при заданных величинах δH_0 и δh_0 параметр $\Delta \Pi$ обусловлен параметрами прогибов валков и их профилировками и равен их алгебраической сумме. С использованием приведенных выше формул выполнены расчеты распределения по ширине полосы относительного обжатия ε , среднего нормального напряжения в очаге деформации p_{cp} , погонных сил в контакте «полоса-валок» p_y и коэффициента неравномерности распределения погонных сил p_y по ширине полосы. Расчет выполнен для стана холодной прокатки $L_B = 1700$ мм с диаметрами рабочего валка $D_p = 500$ мм, опорного $D_{оп} = 1300$ мм при толщине исходного подката $H = 1,0$; $2,0$; и $3,0$ мм при относительном обжатии $\varepsilon = 0,333$ на кромке полосы и при ширине полосы $B = 1250$ мм (сталь марки 08 пс). В расчетах напряжения переднего и заднего натяжений приняты равными $\sigma_n = \sigma_3 = 100$ Н/мм², а коэффициент трения $f = 0,07$. В качестве исходных были приняты также величины суммарной выпуклости опорного и рабочего валков, равные $f_b = (2f_p + f_{оп}) = 0,1 \dots 0,5$ мм, и величины, характеризующие разницу поперечных разнотолщинностей подката и полосы в пределах возможных для полосового стана $\Delta \Pi = 0,05 \dots 0,15$ мм. Для получения полосы с заданными поперечными разнотолщинностями δH_0 (δh_0) и при заданных профилировках валков из условия (10) получаем необходимые величины компенсирующего суммарного прогиба валков клети кварто.

Результаты расчетов с использованием итерационного процесса представлены в таблице и на рис. 2, 3, из которых следует, что принятые исходные параметры оказывают заметное влияние на распределение по ширине полосы относительного обжатия (рис. 2, а), а вместе с этим и других искомых параметров. Поскольку за базовую принята толщина полосы на кромке ($2y/B = 1,0$), то наибольшее изменение ε_y имеет место при большем значении параметра $\Delta \Pi$ (изменения ε_y , f_b , W происходят по закону квадратичной параболы).

В соответствии с увеличением относительного обжатия при $\Delta \Pi > 0,05$ мм повышается среднее нормальное контактное напряжение от кромки к середине ширины полосы, что обусловлено увеличением фактора формы l_c/h_{cp} и, следовательно, продольных подперирующих напряжений σ_3 (рис. 2). Однако изменение среднего нормального контактного напряжения по ширине полосы незначительное. В случае прокатки полосы с $\Delta \Pi = 0,05$ среднее нормальное контактное напряжение $p_{cp,y}$ увеличивается от кромки полосы к середине \approx с 462,5 до 467,1 Н/мм² в соответствии с увеличением относительного обжатия. Прокатка полос с большей величиной обжатия ($\Delta \Pi > 0,05$ мм) по середине ширины полосы ($y/B = 0$) вызывает соответствующее увеличение

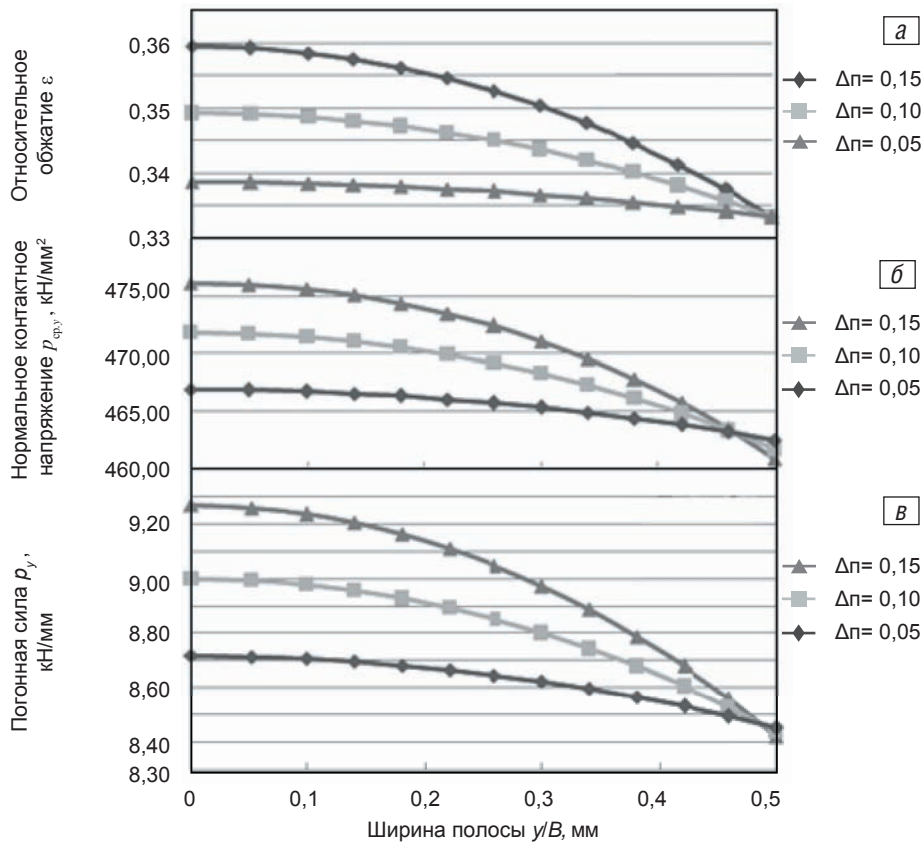


Рис. 2. Изменение обжатия (а), нормального контактного напряжения (б) и погонной силы (в) от ширины полосы при различных Δp (таблица).

среднего нормального напряжения $p_{cp,0}$ (рис. 2, б). Аналогичным образом изменяется и погонная сила на контакте «полоса-валок» (рис. 2, в). При этом коэффициент неравномерности распределения $n_1 = p_1/p_0$ для полосы шириной $B = 1250$ мм и $\Delta p = 0,05-0,15$ мм изменяется в пределах $n_1 = 0,91-0,67$ (рис. 3). Меньшее значение n_1 соответствует большей величине параметра Δp .

Уменьшение толщины полосы обуславливает повышение влияния на условия деформации контактных касательных напряжений (продольных подпирющих напряжений σ_3) и, следовательно, средних нормальных напряжений и погонных сил воздействия полосы на валок (рис. 3, а). При этом чем больше параметр Δp (обжатие по оси полосы), тем больше значение погонной силы по оси полосы и неравномерность распределения погонной силы (уменьшение коэффициента n_1 , рис. 3, б), что необходимо учитывать при расчете прогиба и профилировок валков.

Выводы

Представлена модель расчета распределения нормальных контактных напряжений и погонных сил, действующих на рабочий валок по ширине полосы. Установлено, что основным фактором, оказывающим влияние на неравномерность распределения указанных параметров, является неравномерность обжатия по ширине полосы, обусловленная различием поперечных разнотолщинностей подката и готового профиля. Увеличение относительного обжатия ϵ по оси полосы с 0,337 до 0,360 вызывает увеличение погонной силы в этом сечении на 5,4 %. Уменьшение толщины подката H ($\epsilon = \text{const}$) с 3,0 до 1,0 мм приводит к уменьшению коэффициента n_1 на ~ 4...27 % при больших значениях Δp .

Полученные данные могут быть использованы для расчета прогиба рабочих валков и разработки рациональных профилировок валков с целью повышения качества поперечного профиля полосы.

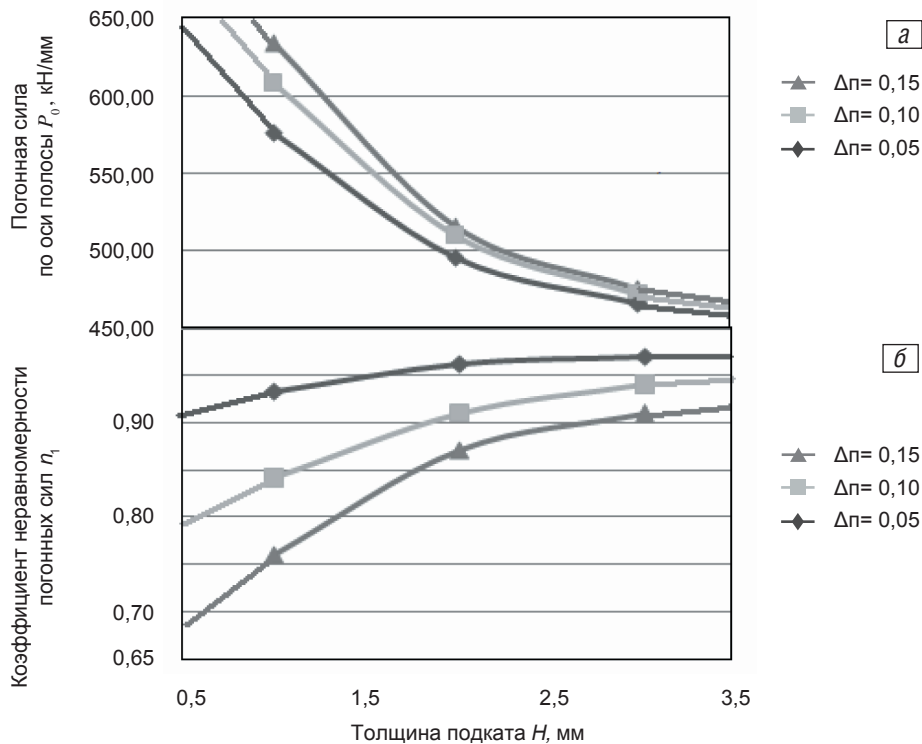
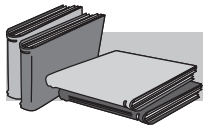


Рис. 3. Изменение погонной силы по оси полосы (а) и коэффициента n_1 (б) в зависимости от толщины подката ($B = 1250$ мм; $\epsilon = 0,333$)



ЛИТЕРАТУРА

1. *Чекмарев А. П.* О некоторых вопросах теории прокатки // Теория прокатки. – М.: Металлургия, 1962. – С. 31-56.
2. Контактное взаимодействие металла и инструмента при прокатке / П. И. Полухин, В. А. Николаев, В. П. Полухин и др. – М.: Металлургия, 1974. – 200 с.
3. *Целиков А. И., Никитин Г. С., Рокотян С. Е.* Теория продольной прокатки. – М.: Металлургия, 1980. – 320 с.
4. *Николаев В. А.* Профилирование и износостойкость листовых валков. – Киев: Техніка, 1992. – 160 с.
5. *Боровик Л. И.* Эксплуатация валков станов холодной прокатки. – М.: Металлургия, 1968. – 233 с.
6. *Полухин В. П.* Математическое моделирование и расчет на ЭВМ листовых прокатных станов. – М.: Металлургия, 1972. – 512 с.
7. Профилирование валков листовых прокатных станов / А. А. Будаква, Ю. В. Коновалов, К. Н. Ткалич и др. – Киев: Техніка, 1986. – 190 с.
8. *Николаев В. А.* Контактные давления в очаге деформации при прокатке в валках с рельефной поверхностью // Изв. вузов. Чер. металлургия. – 1991. – № 1. – С. 29-32.
9. *Железнов Ю. Д.* Прокатка ровных листов и полос. – М.: Металлургия, 1971. – 200 с.
10. *Бельский С. М.* Деформация полосы при симметричной и асимметричной прокатке. – Липецк: ЛГТУ, 2008. – 235 с.
11. *Николаев В. А.* Теория прокатки. – Запорожье: ЗГИА, 2007. – 228 с.
12. *Николаев В. А.* Оценка точности формул для расчета среднего контактного напряжения при холодной прокатке // Изв. вузов. Чер. металлургия. – 2004. – № 11. – С. 32-36.
13. *Николаев В. А.* Расчет силы при холодной прокатке // Там же. – 2005. – № 3. – С. 42-46.
14. *Николаев В. А.* Расчет усилия при горячей прокатке // Там же. – 2005. – № 11. – С. 24-30.
15. *Николаев В. А.* Нормальное контактное напряжение при различных моделях расчета напряжений течения металла // Там же. – 2008. – № 11. – С. 14-16.

Анотація

Николаев В. А., Жученко С. В.

Погонні сили в області контакту «штаба-валок» в кліті кварто

Наведено модель розрахунку розподілення нормальних контактних напружень та погонної сили на робочий валок по ширині штаби. Встановлено, що основним чинником, який має вплив на нерівномірність розподілення вказаних параметрів, є нерівномірність обтиснення по ширині штаби, що обумовлена різницею поперечних різновтовщинностей підкату та готового профілю.

Ключові слова

прокатка, валки, модель розрахунку, розподіл напружень, погонна сила, штаба, різновтовщинність, обтиснення

Summary

Nikolaev V., Zhuchenko S.

Linear forces upon strip-roll contact in a quarto cage

The model of calculation of distribution of normal contact pressure and linear force on working roll on width of a strip is presented. It is established that the major factor influencing on non-uniformity of specified parameters distribution is irregularity of strip compression, determined by different gage of bloomig and rod.

Keywords

rolling, roll, calculation model, distribution of pressure, linear force, strip, gauge, compression

Поступила 06.06.10